

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-283485  
(43)Date of publication of application : 27.10.1995

(51)Int.CI.

H01S 3/18  
G02B 6/122  
H01S 3/083

(21)Application number : 05-266535

(22)Date of filing : 25.10.1993

(71)Applicant : INTERNATL BUSINESS MACH CORP <IBM>

(72)Inventor : CLAUBERG ROLF  
HARDER CHRISTOPH  
HEUSCH CHRISTIAN  
JAECKEL HEINZ

(30)Priority

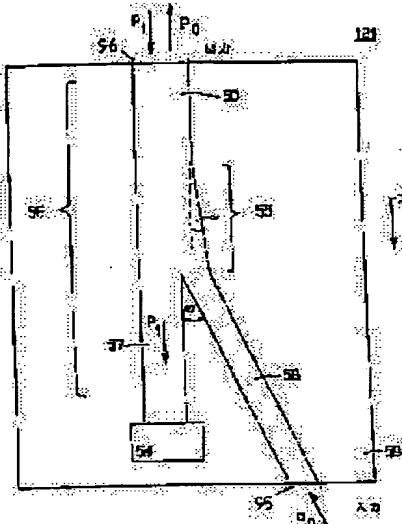
Priority number : 92 92810911 Priority date : 24.11.1992 Priority country : EP

## (54) WAVEGUIDE OPTICAL ISOLATOR

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To attenuate one of optical waves in the cavity of a ring laser without attenuating the opposite optical wave, by placing an optical output port at one end of a waveguide stem of a branch type waveguide coupler, placing optical input port at one end of two branches, and coupling an optical absorber with the other end.

**CONSTITUTION:** An isolator 121 has an asymmetric multi-mode branch type waveguide coupler 56 having a tapered waveguide section 55 having an aperture angle  $\alpha$ . A first branch 57 of this coupler 56 is coupled with an optical absorber 54. The terminal end of a second branch 58 is coupled with an input port 95. A third end of the coupler 56, i.e., the end of a waveguide stem 60 is coupled with an output port 96 of the isolator 121. All these elements are integrated on the same substrate 59.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 25.10.1993

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2534445

[Date of registration] 27.06.1996

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-283485

(43)公開日 平成7年(1995)10月27日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 01 S 3/18

G 02 B 6/122

H 01 S 3/083

G 02 B 6/ 12

C

B

審査請求 有 請求項の数 9 O L (全 13 頁)

(21)出願番号

特願平5-266535

(22)出願日

平成5年(1993)10月25日

(31)優先権主張番号 92810911.5

(32)優先日 1992年11月24日

(33)優先権主張国 スイス(CH)

(71)出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレイション

INTERNATIONAL BUSIN  
ESS MACHINES CORPO  
RATION

アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州  
アーモンク (番地なし)

(72)発明者 クラウベルグ・ロルフ  
スイス国、ガッチコン、シー・エッラー  
8136、ホフビーゼンシュトラーゼ、25番地

(74)代理人 弁理士 堤宮 孝一 (外1名)

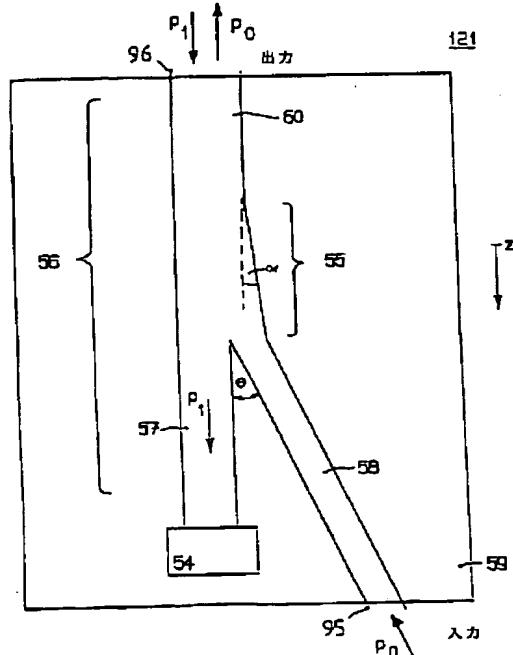
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 導波路型光アイソレータ

(57)【要約】

【目的】 本発明の目的は、リング・レーザのキャビティ内の2つの互いに反対方向に循環する光波の一方を、これと反対方向の光波を減衰せずに減衰する、集積化された導波路型光アイソレータを有するリング・レーザ構造を提供することである。

【構成】 上記の目的は次のような導波路型光アイソレータにより達成される。導波路型光アイソレータは光入力ポート及び光出力ポートを有し、更に本発明によると、Y字型の分岐型導波路結合器を有し、この分岐型導波路結合器の導波路システムの一方の端部に光出力ポートが配置され、この分岐型導波路結合器の2つの分岐部分の一方の端部に光入力ポートが配置される。更に、他方の分岐部分の端部に光吸収手段が結合されてこれに入る光を吸収排除する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】光入力ポート及び光出力ポートを有する導波路型光アイソレータにおいて、

光吸収手段と、

第1の端部が少なくとも第1及び第2の導波路分岐部分に分割されている導波路システムを有する分岐型光導波路結合器とを備え、

上記導波路システムの第2端部が上記光出力ポートを形成し、上記第1導波路分岐部分が上記光入力ポートを形成し、上記光吸収手段が上記第2導波路分岐部分に取り付けられ、上記第1及び第2の導波路分岐部分の間の角度 $\theta$ は、上記光出力ポートを経て上記導波路システムに送られる光波の大部分が上記他方の導波路分岐部分に結合されて上記光吸収手段に進められるように選択されていることを特徴とする上記導波路型光アイソレータ。

【請求項2】上記光吸収手段及び上記分岐型光導波路結合器は共通基板上に集積されていることを特徴とする請求項1の導波路型光アイソレータ。

【請求項3】上記分岐型光導波路結合器は非対称型の分岐型光導波路結合器であり、上記第2導波路分岐部分の主軸が上記導波路システムの主軸に平行であり、そして上記第1導波路分岐部分は上記分岐角度 $\theta$ で上記導波路システムから分岐していることを特徴とする導波路型光アイソレータ。

【請求項4】上記導波路はマルチ・モード導波路であることを特徴とする請求項1若しくは請求項2の導波路型光アイソレータ。

【請求項5】テーパ角度 $\alpha$ を有するテーパ付けされた導波路セクションが上記導波路システム及び上記2つの導波路分岐部分の間に配置されていることを特徴とする請求項2若しくは請求項3の導波路型光アイソレータ。

【請求項6】上記分岐角度 $\theta$ は $10^\circ$ より小さいことを特徴とする請求項1若しくは請求項2の導波路型光アイソレータ。

【請求項7】発光手段が上記基板上に集積されそして上記光入力ポートに直結されており、上記発光手段から放出された光波が上記第1導波路分岐部分及び上記導波路システムを経て上記光出力ポートから上記アイソレータ外に出され、上記出力ポートを経て上記アイソレータ内に反射して戻される光波が上記第2導波路分岐部分に送られることを特徴とする請求項2の導波路型光アイソレータ。

【請求項8】少なくとも2つの分岐型導波路結合器を有し、第1結合器の導波路システムが第2結合器の第1導波路分岐部分に結合され、上記光出力ポートが第2結合器の導波路システムに配置され、上記光入力ポートが上記第1結合器の第1導波路分岐部分に結合され、上記光吸収手段が上記第1及び第2結合器のそれぞれの第2導波路分岐部分に取り付けられていることを特徴とする請求項1若しくは請求項2の導波路型光アイソレータ。

【請求項9】半導体リング・レーザ・ダイオードが上記共通基板上に集積されていることを特徴とする請求項2の導波路型光アイソレータ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体レーザ及び他のオプト・エレクトロニクス装置とモノリシックに集積化される導波路型光アイソレータ(optical waveguide isolator)に関する。

## 【0002】

【従来の技術】光アイソレータは、代表的には互いに反対方向に伝わる2つの電磁波(electro-magnetic light wave)のうちの一方を排除するためにバルク光学的系において使用される。光アイソレータは、入力ポート及び出力ポートの間で低抵抗を有しそして出力ポート及び入力ポートの間で非常に高い抵抗を有するダイオードに対応する。光アイソレータの入力ポートを経てこの出力ポートへ送られる光波は低損失で導かれ、そして逆方向に伝搬する光波、即ちこのアイソレータの出力ポートへ送り込まれる光波は、これのわずかな量だけがアイソレータの入力ポートから取り出されるように減衰される。この様な光アイソレータは、単方向性の伝達特性を有し、そしてその出力ポートへ送り返される光の大部分をカット・オフする。ポンプ型レーザ空洞構造で使用される標準的な光アイソレータは、Applied Physics Letters, Vol.21, No.6, September 1972, pp.264-266のA.R.Clobesによる論文"Single-Frequency Travelling-Wave Nd:YAG Laser"に示されている。この文献に示されているバルク光アイソレータは、これに磁界が印加されたとき、光波の伝搬方向に依存して光波の分極(polarization)を回転するファラディ・セルを含む。更に、光アイソレータの一部を構成する半波長板が光路内に置かれ、その結果半波長板を通過する前に上記ファラディ・セルを通過する光波は減衰されず、そして反対方向に伝搬する光波は減衰される。

【0003】光波の分極に影響を与えてこれを分極関知型フィルタ・エレメントを通して導くという同じ原理にもとづく他の光アイソレータは、以下のリスト通りである。これらの光アイソレータは、電気光学的一体性に関して、これらは小型でそしてこれらの幾つかは光導波路に一体化するのに適する。

## 【0004】米国特許US-A 3,830,555

フランス特許F R-A 2,614,999

ヨーロッパ特許出願E P-A 0,309,531

ドイツ特許G E-A 3,741,455

ヨーロッパ特許出願E P-A 0,343,688

ヨーロッパ特許出願E P-A 0,397,089

米国特許U S-A 4,973,119

ヨーロッパ特許E P-A 0,470,523

これらの大部分は、電磁波の分極を回転するために磁

気光学効果を使用して非相互的な伝達特性を与える複雑で且つかさばる能動素子である。光波の分極を生じるために、例えばガドリニウム・ガリウム・ガーネット(GGG; Gd<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>O<sub>12</sub>)、フェロマグネチック・ガーネット若しくはイットリウム・アイロン・ガーネット(YIG; Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub>)のような電磁材料が、使用されねばならない。

【0005】更に、電界を印加する電極がこれらのアイソレータに設けられねばならない。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上述の電磁光アイソレータのいくかの不利点及び問題点を以下に述べる。電磁材料それ自体のフィルムは液相エビタキシー(LPE)若しくはスパッタリングにより成長されうるが、適切な品質のフィルムが半導体基板上に成長され得ない。その理由は、これらの格子定数及び熱膨張係数が異なるからである。かくして、電磁効果にもとづく光アイソレータを他の光学装置と共に集積化することは困難である。

【0007】例えば、CdMnTeのように標準型の半導体基板上での集積化を可能とする磁気半導体材料がこの分野で知られている。半導体基板上に成長されたCdMnTe及びCdTeの多数の層からなる代表的な導波路型アイソレータが、JP-A 63-19805に示されている。磁気半導体材料を使用すると、他の装置と集積化するのが困難なほど装置が大きくなる。

【0008】この観点から、上述のものに変えて、半絶縁性のGaAs若しくはInPの基板の上面に容易に成長されうる半導体材料で作られる光アイソレータを使用することが望まれる。このことは更にサイズを減少し、そして集積密度を高めそして製造を容易にする。光導波路内にこの様な光アイソレータを集積化することは有利である。

【0009】今日の導波路型光アイソレータは、この分野で知られているように、双方向の導波路結合器を使用する。これらの双方向結合器のサイズが小さくなるほど、これらはモノリシックな電気光学集積体(EOI)に適する。

【0010】最も一般的に使用されている双方向の導波路結合器を、以下分岐型導波路結合器と呼ぶ。最も簡略的な分岐型導波路結合器はY型導波路であり、これは導波路システムとこれの一端から分けられている2つの分岐部分とからなる。システム及び2つの分岐部分の屈折率、これらの幅、分岐角度及び埋め込み材料に依存して、分岐型導波路結合器は、パワー分割器若しくはモード・スプリッターとして働く。

【0011】受動型の導波路結合器に関する例示的な文献は以下のリストの通りである。

【0012】IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol.QE-11, No.1, January 1975, pp.32-39のW.K.Burns等による論文"Mode Conversion in Planar-Dielectric Se

parating Waveguides"

Electronics Letters, Vol.17, No.3, February 1981, pp.136-138のH.Sasaki等による論文"Normalised Power Transmission in Single Mode Optical Branching Waveguides"

Optics Letters, Vol.7, No.3, March 1982, pp.136-138のM.Izutsu等による論文"Operation Mechanism of the Single-Mode Optical-Waveguide Y Junction"

Optics Letters, Vol.7, No.11, November 1982, pp.549-551のM.Izutsu等による論文"Optical-Waveguide Hybrid Coupler"

米国特許US-A 4,674,827

米国特許US-A 4,846,540

これらの大部分は、LiNbO<sub>3</sub>若しくはガラスで作られた導波路分岐部分に関し、残りは、例えばGaAsのような半導体材料の使用を述べている。半導体材料からなりそして標準型の半導体基板上に集積されうる導波路に向けて重要な発展がなされた。

【0013】分岐型導波路結合器及びレーザ・ダイオードのモノリシック集積化に関する文献の例は以下の通りである。

【0014】Applied Physics Letters, Vol.54, No.2, January 1989, pp.114-116のK.Y.Liou等による論文"Monolithic Integrated InGaAsP/InP Distributed Feedback Laser with Y-Branching Waveguide and a Monitoring Photodetector Grown by Metalorganic Chemical Vapor Deposition"

ヨーロッパ特許EP-A 0,469,789

【0015】

30 【課題を解決するための手段】本発明の目的は、第1の光波を効率的に減衰し、そして反対方向に伝搬する第2の光波を非常にわずかな減衰だけで伝達する導波路型光アイソレータを提供することである。

【0016】本発明の他の目的は、小型で、簡単でそして信頼性の高い導波路型光管アイソレータを提供することである。

【0017】本発明の他の目的は、例えば半導体ダイオードのようなオプトエレクトロニクス装置とモノリシックに集積されることが出来る導波路型光アイソレータを提供することである。

【0018】本発明の他の目的は、リング・レーザのキャビティ内の2つの互いに反対方向に循環する光波の一方を、これと反対方向の光波を減衰せずに減衰する、集積化された導波路型光アイソレータを有するリング・レーザ構造を提供することである。

【0019】本発明の他の目的は、減少されたスペクトル幅の光出力を伴うリング・レーザ構造を提供することである。

【0020】本発明の他の目的は、入光される光波を減衰する集積化された導波路型光アイソレータを有するフ

アブリーベロー・レーザー・ダイオード構造を提供することである。

【0021】上記の目的は次のような導波路型光アイソレータにより達成される。導波路型光アイソレータは光入力ポート及び光出力ポートを有し、更に本発明によると、Y字型の分岐型導波路結合器を有し、この分岐型導波路結合器の導波路システムの一方の端部に光出力ポートが配置され、この分岐型導波路結合器の2つの分岐部分の一方の端部に光入力ポートが配置される。更に、他方の分岐部分の端部に光吸収手段が結合されてこれに入る光を吸収排除する。

#### 【0022】

【実施例】本発明の実施例を説明する前に、これの基本的な素子を説明する。本明細書で述べる導波路型光アイソレータは、基板上に集積化されて示される。更に、実施例は基板上に集積化された導波路の代わりにオプチカル・ファイバを有することが出来、そしてこのオプチカル・ファイバは、分割されて分岐型の導波路結合器を形成する。この見地からすれば、本明細書で使用する語“導波路”は、例えば光波のような電磁波をガイドするに適するチャネル、ファイバ、ガイド等と同意語である。本発明は、可視的な光波に限定されない。

【0023】最初、幾つかの異なる型の光学的チャネル導波路を図1の(A)乃至(H)を参照して説明する。これらのチャネル導波路はこの分野で周知であり、そしてレーザ・ダイオード、モジュレータ、スイッチ及び双方向性結合器を含む集積化された種々な能動及び受動型の光学装置において通常使用される。次に、本発明に従う導波路型光アイソレータに使用されうるチャネル・ガイドの形状及び材料について概略的に説明する。

【0024】簡略化のために、図1の(A)乃至(H)は、屈折率が急激に変化する例を示す。しかしながら、例えば拡散等による製造技術により、屈折率が徐々に変化するガイド断面を有する構造が形成されうる。構造を変えることにより及び／若しくはキャリア濃度を変えることにより、横方向及び縦方向の光を閉じこめる通路(confinement)がこれらの構造に与えられる。8つの全ての例において、光は屈折率n<sub>1</sub>のフィルム材料に実質的に閉じこめられる。基板の屈折率n<sub>0</sub>はn<sub>1</sub>よりも小さく、そして周囲の媒体(自由空間)の屈折率n<sub>0</sub>はn<sub>1</sub>よりも小さい(n<sub>1</sub>>n<sub>0</sub>>n<sub>0</sub>)。図1の(A)は、上側層11、基板12及び横の層13、14の間に埋め込まれた埋め込みチャネル10を有するチャネル導波路を示す。これらの横の層13及び14の屈折率n<sub>0</sub>およびn<sub>0</sub>は、多くの場合基板及び上側層の屈折率と異なる。

【0025】基板16ないに埋め込まれた屈折率n<sub>0</sub>のチャネル導波路15が図1の(B)に示されている。チャネル導波路15はGaAsより成り、一方基板16はAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Asより成る。図3の(C)に示す他の埋め込み型ヘテロ接合導波路構造は、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As基

板18上に成長されそしてAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Asキャップ層19により覆われたGaAsチャネル導波路17を有する。このキャップ層19の屈折率n<sub>1</sub>はn<sub>0</sub>よりも小さくそしてn<sub>0</sub>よりも大きい(n<sub>1</sub>>n<sub>0</sub>>n<sub>0</sub>)。図1の(D)には、埋め込み導波路20及び基板21を有するストリップ型導波路構造と呼ばれる導波路構造が示されている。この導波路20は、GaInAsP基板21内に埋め込まれたInPから成る。

【0026】図1の(E)に示すリブ型導波路構造は、基板23上に付着されそしてリブを形成するようにエッチされた屈折率n<sub>1</sub>の上側層22を有する。図1の(E)に示す代表的なリブ型導波路構造は、n<sup>-</sup>GaAs導波路22及びn<sup>-</sup>GaAs基板23を含む。2つの凹型の導波路構造が図1の(F)及び(G)に示されている。これらの構造は、誘電負荷型導波路構造として知られており、基板26及び29のそれぞれに上に成長されそしてキャップ層25及び28によりそれ一部が覆われている導波層24及び27を有する。例示的な材料は、p<sup>+</sup>AlGaAsキャップ層25、28；n<sup>-</sup>GaAs導波層24、27並びにn<sup>-</sup>GaAs基板26、29である。隆起ストリップ型導波路構造として知られている他の非常に簡単な構造が図1の(H)に示され、そしてこれは基板31の上面に形成されたストリップ型導波路30を有する。

【0027】これらの構造は単なる例であることに注目されたい。これらを製造する他の技法及び他の材料がこの分野で周知である。一般的に使用される材料は、GaAs、AlGaAs、GaInAsP及びInPである。導波路の形状特にこの幅に依存して導波路は、单一モード若しくはマルチ・モードの光波をガイドするようになる。更に、周囲を取り囲む媒体即ち横の層は、光波を強く若しくは弱くガイドする。

【0028】次に、幾つかの基本的な分岐型の導波路構造について説明する。分岐型の光導波路構造の著しい特徴は、ガイドされるモードの次第に消えるフィールドがガイド層若しくはチャネルの境界の外側に存在し、そして分岐部分相互間のパワーの伝達がこの次第に消えるフィールドの重なりに基づいて生じることである。Applied Physics Letters, Vol.22, No.12, June 1973, pp.647-649のYajimaの論文“Dielectric Thin Film Optical Branching Waveguide”は、浅いテーパを有する非対称的なプレーナー誘電型分岐導波路に入射するモードは、モードのパワーが分岐の一方のアーム若しくは他方に伝えられるように伝搬することを示している。モードは、導波路が分割される前にこれが伝搬していた実行インデックスに近い実行インデックスで伝搬するようにアームを選択するという原理が設立された。浅いテーパを有する比対称的な分岐型導波路はかくしてモード・スプリッタとして動作すると考えられる。更に上記のYajimaの論文は、急峻なテーパを有する分岐型の導波路は、ノーマル

・モード相互間のモード変換及びガイドされない放射モードへのパワー伝達に基づき理想的なモード・スプリッタとして働くことを述べている。対称性を考えると、急峻なテーパ若しくはほぼ対称性な分岐の極端なケースに到達する。これらの分岐型の導波路は、モード・スプリッタとしては働くかないが、パワー分割器として働く。

【0029】2つの分岐路41、42及びシステム40を有する比対称的な分岐型導波路が図2の(A)に示されている。テーパ角度θは、2つの分岐部分41及び42の間の角度として限定される。更に詳細な非対称な分岐型の導波路構造は、IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol.QE-11, No.1, January 1975, pp.32-39のW.K.Burns等による論文"Mode Conversion in Planar-Dielectric Separating Waveguides"に示されている。

【0030】図2の(B)に示されている対称的な分岐型導波路結合器は、導波路システム43から対称的に分岐している2つの分岐部分44、45により特徴づけられる。代表的な対称的な分岐型導波路は、Electronics Letters, Vol.17, No.3, February 1981, pp.136-138のH.Asakiによる論文"Normalised Power Transmission in Single Mode Optical Branching Waveguide"に示されている。図2の(C)及び(D)に示されるテーパづけられた導波路セクション47及び51を有する2つの分岐型導波路結合器は、これらのテーパづけられた導波路セクションにより特徴づけられ、これらは、導波路システム46及び50から各分岐部分48、49及び52、53への緩やかな移行を与える。これらのテーパづけされたセクションのアバーチャー角度αは、分岐角度θ/2よりも小さく、若しくはこれに等しく、若しくはこれよりも大きい。テーパづけされたセクションを有するこの種の分岐型導波路結合器は、Optics Letters, Vol.7, No.3, March 1982, pp.136-138のM.Izutsu等による論文"Operation Mechanism of the Single-Mode Optical-Waveguide Y Junction"に示されている。

【0031】本発明の第1の実施例を図3を参照して説明する。図3から明らかなように、この光アイソレータ121は、アバーチャー角度αを有するテーパづけられた導波路セクション55を有する比対称的なマルチ・モード分岐型導波路結合器56を有する。この分岐型導波路結合器56の第1分岐部分57は、光吸収(optical absorber)手段54に接続されている。第2分岐部分58の終端は、光アイソレータの入力ポート95に結合されている。分岐型導波路結合器56の第3の端部即ち導波路システム60の端部は、この光アイソレータ121の出力ポート96に結合されている。図3に示すように、この実施例の全ての素子は同じ基板59の上に集積化されている。

【0032】光アイソレータの入力ポート95に送られるパワーP<sub>1</sub>の光波は、第2分岐部分58、テーパづけられたセクション56及び導波路システム60を介して出

力ポート96にガイドされる。入力ポート95から出力ポート96に進む光波は、分岐点で交差する代2分岐部分によりわずかに減衰されるだけである。この点に於ける損失は約3dBである。光アイソレータの出力ポート96に結合されるパワーP<sub>1</sub>の光波(入力ポート95に送られる光波と反対方向に伝わる)は、導波路システム60に沿って進み、これのパワーの大部分は第1分岐部分57へ移される。光吸収手段54はこの分岐部分57に取り付けられており、逆反射が生じないことを確実にする。この反対方向に伝わる光波を光吸収手段54へガイド即ち導くことは、わずかに少量の光だけが分岐部分58に沿って入力ポート95に伝わることを確実にする。テーパづけされた導波路セクション55は、緩やかな断熱的な移行(adiabatic transition)を与えるように、導波路システム60と2つの分岐部分57、58との間に挿入されている。このような緩やかな断熱的な(熱の出入りのない)遷移は、伝搬距離zと共に徐々に生じるシステム及び分岐部分間の遷移として規定され、その結果システム60から第1分岐部分57へ若しくは第2分岐部分58からシステム60へ伝搬するときに、ノーマル・モード間で無視されうるパワーの伝達が生じる。もしもこのテーパづけされたセクション55のアバーチャー角度αが十分に小さいと、所定のローカル・ノーマル・モードにおいて最初に注入されたパワーは、このモードにおいて、システム60から分岐部分57へのそして第2分岐部分58からシステム60への遷移に亘り留まる。

【0033】本発明の第2実施例が、図4、図5及び図6に示されている。オプトエレクトロニクス集積回路61と呼ぶこの実施例は、発光ダイオード若しくは凹型の導波路レーザ・ダイオード63と共に基板上にモノリシックに集積された導波路型光アイソレータを有する。この導波路型光アイソレータは、分岐型導波路結合器62、光吸収手段64に結合された第1分岐部分69、及びレーザ・ダイオード63のファセット78に光学的にリンクされた第2分岐部分67を有する。導波路システム68の端部は、V字型の溝に整列そして固定されているオプチカル・ファイバ65に突き合わせ結合されている。線A-A'に沿って切断した2つの導波路分岐部分67及び69の簡略化された断面が図5に示されている。

図5から明らかなように、光波を光学的に閉じこめそしてガイドする導波路構造は、上側及び下側のクラッド層79及び80の間に埋め込まれた屈折率n<sub>1</sub>の導波層71を有する。これらの層が成長される基板70は、凹型の導波チャネル67及び69が形成されるように構成されている。

【0034】光吸収手段64は、導波路の一部分に例えばZnのイオン打ち込みを行うことにより形成されることが出来、かくしてこの部分に減少されたバンド・ギャップを与える。この打ち込みはバンド・ギャップを局部的に狭くしそして吸収を増大する。光吸収手段のサイ

ズ、形及び位置は、イオン打ち込みの前に適切な窓を有するマスクを付着することにより規定されることが出来る。AlGaAs内にZnイオンを導入することの影響は、Applied Physics Letters, Vol.34, No.10, May 1979, pp.637-639のH.Yonezu等による論文"AlGaAs Double-HeterostructureLaser"に述べられている。高くドープした領域の代わりに、格子結合器若しくは45度の反射表面が使用され、これは光波を導波路外へ反射することにより吸収手段として働く。若しくは例えば、導波路を進む光波を拡散させるために粗面化された導波路が使用され、かくして光波を反射して戻すことなしに光波を受け取る光吸収手段をして働く。畠型の導波レーザ・ダイオード63を第2導波路部分67に対して整列結合するための原理が図6の(A)及び(B)に概略的に示されている。図6の(B)は、図6の(A)を詳細に且つ拡大した図である。上側クラッド層76及び下側クラッド層77の間にサンドイッチされた活性層75を有するレーザ・ダイオード63は、基板70の上面に成長される。レーザ及び導波路の層75-77並びに79、80及び71の付着の前に、畠81が基板70に形成される。この様に畠が形成された基板70の上面にこれらの層を成長すると、導波路のコア層71及びレーザ63の活性層75の適切な整列が保証される。更にレーザ・ダイオード63は絶縁層74を有し、そしてこれは上側のクラッド層76を覆いそしてレーザ63の畠72への接点窓を与える。図6の(A)に示すように、レーザ・ダイオード63の畠に接続するメタライゼーション層73がこの構造の上面に付着される。図6の(B)で梢円領域として示されているレーザ・ダイオード63の光放出部分82は、レーザ63により放出される光を導波路の分岐部分67へ効率的に結合するために導波路層71に整列されている。

【0035】レーザ・ダイオード及び導波路の整列についての詳細は、例えば次の文献に示されている。

【0036】ヨーロッパ特許出願 EP-A 0, 402, 556

ヨーロッパ特許出願 91 810742. 6

Electronics Letters, Vol.26, No.2, January 1990, p.142-143のP.J.Williamsによる論文"High Performance Buried Ridge DFB Lasers Monolithically integrated with Butt Coupled Strip Loaded Passive Waveguides for OEIC"

本発明の第3の実施例即ち2つの分岐型導波路結合器83及び84を含む2ステージの導波路型光アイソレータが図7に示されている。このアイソレータは、第1ステージ結合器83の第1導波路分岐部分89へ結合された入力ポート85及び第2ステージ分岐型導波路結合器84の導波路システム92にある出力ポート86を有する。

第1導波路結合器83の導波路システム91は第2分岐型導波路結合器84の第1分岐部分93に接続され、この

結合器84の第2分岐部分94は第2光吸収手段88へリンクされている。これと同様に、第1ステージの分岐型導波路結合器83の第2分岐型導波路90は、第1光吸収手段87へ結合されている。この光アイソレータはGaAs基板の上面に成長され、畠型の導波路は3ミクロン・メータの幅を有する。これらの3ミクロン・メータの畠の導波路は、2つの伝搬するTEモードを可能にしそして単一の伝搬モードは分岐型導波路結合器において変換されない。即ち、もしもTEモードが分岐型結合器にはいるならば、順方向(forward)に伝搬されるパワーは、TE<sub>1</sub>-モード及びTE<sub>0</sub>-モードである。しかしながら、これはマルチ・モード(MM)ファイバ/導波路オプティカル・システムに対しては適切でない。代表的な分岐角度θ<sub>1</sub>及びθ<sub>2</sub>は、1及び5度の間である。この様にして2つの分岐型導波路結合器83、84並びに光吸収手段87、88を配列すると、低損失で光波を入力ポート85から出力ポート86へガイドする効率的な導波路型光アイソレータが実現できる。逆方向に伝搬する光波即ち出力ポート86を介してこの光アイソレータに送られる光波は、これらの少量が入力ポート85に伝搬されるほどにまで減衰される。

【0037】分岐角度θに対する順方向の結合効率、即ち入力ポート85から出力ポート86への結合効率が、図8に示されている。これらの測定及び計算は、次の実効屈折率n<sub>1,eff</sub>=3.4186及びn<sub>2,eff</sub>=3.4267並びに3ミクロン・メータの畠幅を有する畠型導波路構造についてなされた。これらの屈折率は、3次元の導波路構造を、2次元構造に換算しそして実効屈折率を概算することにより決められた。出力ポート86及び入力ポート85の間の逆方向の効率は図9に示されている。図8及び図9のデータから、約50%の順方向の結合効率を有する2ステージ型導波路型光アイソレータは、逆方向では10%よりも小さい結合効率を有することが判る。アイソレータの能力(strength)を順方向及び逆方向の効率の比とすると定義すると、本発明の光アイソレータは、約4-5のアイソレータ能力並びに2度及び3度の間の分岐角度θ<sub>1</sub>及びθ<sub>2</sub>を有する。

【0038】順方向に於ける十分な結合効率を保ちながらアイソレート効率を更に大きくすることは、数個の分岐型導波路結合器を直列に配置することにより達成されることが出来、かくしてマルチ・ステージの導波路型光アイソレータを形成することが出来る。マルチ・モード導波路及び2°の分岐角度θを有する4ステージのマルチ分岐型光アイソレータを考えると、順方向の結合効率は依然として41%であるが、逆方向の結合効率は、たった0.16%にまで減少される。従って、アイソレータの能力は約256である。3°の分岐角度θを有する4ステージのマルチ分岐型導波路型光アイソレータは、625のアイソレータ能力を与える。

【0039】本発明の次の実施例は、半導体リング・レ

11

ーザ・ダイオードのリング・キャビティに挿入された導波路型光アイソレータに関する。

【0040】リング・レーザ・キャビティは、單一周波数のレーザ・ビームを生じる手段である。三角形若しくは長方形のキャビティの光路内に置かれたブルースターで終端されたNd:YAGレーザ・ロッド、及び入/2プレートと組み合わせられたファラディ・セルを有するこれらの構成は、非常に複雑な光学的アセンブリである。今概略的に述べたリング・レーザは、上述の文献即ち、*Applied Physics Letters*, Vol.21, No.6, September 1972, pp.265-266のA.R.Clobes等による論文"Single-Frequency Traveling-Wave Nd:YAG Laser"に示されている。これらの不利点例えばコスト、寸法、感度及び組み立てる際の整列の困難性は周知である。

【0041】近年の半導体技術の発展により、リング・レーザを半導体基板上に集積することが可能になり、かくして上述の寸法、コスト及び組立の際の整列の問題は減少された。半導体基板上にリング・レーザ・ダイオードを集積するための主要なステップは、エッチされたファセットを有するファビリーペロー半導体レーザ・ダイオードについての開発が成功したことにより可能となった。これは例えば、*IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol.27, 1991のP.Vettiger等による論文"Full Wave Technology-A New Approach to Large-Scale Laser fabrication and Integration"に示されている。

【0042】出力結合を有する第1のエッチされたファセット・リング・レーザ・ダイオードは、*Applied Physics Letters*, Vol.59, No.12, September 1991, pp.1395-1397のA.Behfar-Rad等による論文"Etched-Facet AlGaAs Triangular-shaped RingLaser With Output Coupling"に示されている。

【0043】図10に概略的に示されているこのリング・レーザ・ダイオードは、2つの全反射する及び1つの部分反射するエッチされたファセット101、102及び103を有するキャビティを形成する三角形のマルチモード導波路100を有する。2つの互いに反対方向に循環するマルチモードの光波104及び105は、この導波路内を進行し、終端ファセット101及び102により全反射されそして前端ファセット103においてこのキャビティ外へ部分的に結合される。このリング・レーザの全キャビティ長(点線で示されている)は、約600マイクロ・メータでありそして導波路の幅は約40マイクロ・メータである。この構造の不利点は、これのマルチモード出力及び様式(modal)の不安定性である。この構造の他の不利点は、キャビティ100及び周囲の媒体の屈折率に依存して、互いに逆方向に進む両光波104及び105が発散方向106及び107でキャビティ100外に偏向されることである(スネルの屈折法則)。

【0044】他の半導体リング・レーザ・ダイオード

10

12

は、特開昭3-40480号に示されている。長方形リング・レーザ・ダイオードの光取り出し効率は、図11に示すように、光路内に付加的な手段を追加することにより改善された。この長方形のリング・レーザ・ダイオード120は、3つの全反射するエッチされたミラー123及び部分反射する第4番目のミラー124を有する導波キャビティ122を有する。この部分反射するミラー124は、時計方向に回転する光波の一部分がキャビティ外へ結合されそして他の部分がキャビティ内に戻されて時計方向に循環するよう置かれること。

【0045】このキャビティ122の左上の角、ミラー124及び導波路分岐部分125、16の概略図が図12に示されている。この半導体リング・レーザ・ダイオード120の動作を更に詳細に説明すると、部分反射するミラー124は、キャビティ側から及び他の側の両方からの入力光の50%( $R = 0.5$ )を反射する。入力光の100%を反射する( $R = 1$ )全反射層127、並びに導波路125及び周囲の媒体( $R = 0$ )の間の界面が理想的なものであるとする。これらの仮定の下に、図12に示されるような簡略化されたパワーの推定が可能である。パワー $P_1$ の時計方向の入力光波の50%が、反射角度に等しい入力角度でミラー124により反射されて $P_1/2$ となる。この部分 $P_1/2$ は反時計方向に循環しつづける。 $P_1$ の第2の50%の部分がミラー124を通過して全反射ミラー127により反射される。 $P_1/2$ のこの光波の50%が次にミラー124の他の側で反射されて、導波路分岐部分125及びこれの端部のファセットを介してレーザ装置からである。この光波のパワーは $P_1/4$ である。

【0046】キャビティ122内を逆行するパワー $P_2$ の光波(点線)は、ミラー124で部分的に反射され、これの50%( $P_2/2$ )は、これが反時計方向に循環し続けるように反射される。パワー $P_2$ の入力光波の残りの50%は、伝搬方向を変えずにミラー124を通過しそして装置外に結合される( $P_2/2$ )。

【0047】キャビティの導波路122へ戻される光波の部分 $P_1/4$ は、キャビティ122ないに既にありそして反時計方向に循環するパワー $P_1/2$ の光波の位相に結合されない位相を有する。異なるモード及び位相を有するこれらの光波の重畠は、レーザの出力スペクトルに有害な影響を及ぼす。この出力は单一モード及び單一周波数でなくなる。反時計方向に循環する光波及びキャビティ内へ戻される光波の間の位相シフトは、分岐導波路のあるなしに係わらずキャビティ長の相違に基づいて一定にならず、キャビティ外へ結合される光波を、リング内に残存する光波に関してシフトする。この様な位相の変動が、出力導波路125内の出力パワーの不安定さ及び変動を生じる。出力分岐部分125内で重畠される量光波のモード的作用及び位相の関係は、キャビティ122内の2つの互いに反対方向に伝搬する光波のモード

20

30

40

50

の作用及び位相の変移に依存する。これらの反対方向に循環する光波は通常互いに独立的であり、そして矢印128で示される放出光ビームは、マルチ周波数及びマルチ・モードの光波である。

【0048】本発明に第4に実施例は図13及び図14に示されている。

【0049】或る閾値電流が印加されたときに活性領域内で発生される光波が、従来のファブリィーベロー長方形キャビティ内ではなく、リング型の導波路キャビティ内で光学的に閉じこめられそしてガイドされるように、従来周知のファブリィーベロー・レーザ・ダイオードが修正される。上記ファブリィーベロー・レーザと同様に、光の閉じこめ（confinement）、特に横方向の閉じこめは、導波路の形状及び型に依存する。更に、使用される活性領域の型が光の閉じこめに影響する。従来のファブリィーベロー・レーザ・ダイオードで既に使用されている例えばIII-V族及びII-VI族の化合物半導体のような異なる材料が、リング・レーザの実現のために適切である。リング・レーザ・ダイオードの基本的な構造は、SCH（分離的に閉じこめるヘテロ構造）、DH（ダブル・ヘテロ構造）、GRIN-SCH（屈折率が段階的に変化された分離的に閉じこめるヘテロ構造）、DCH（デガップされて閉じこめられたヘテロ構造）、QW（量子力学的井戸）若しくはMQW（マルチ量子力学的井戸）構造でよい。これらの構造は、例えばJohn Wiley & Sons社の"Physics of Semiconductors Devices" 1981年第2版のような半導体レーザ・ダイオードの基本に関する本において詳細に説明されている。上述のDCHレーザ・ダイオードは、ヨーロッパ特許出願A P 92810473. 1に示されている。

【0050】ファブリィーベロー・レーザ・ダイオードと同様に、光の閉じ込めは、レーザの活性領域に隣接して配置された光導波路を使用することにより達成されることが出来る。例えば畠型導波路、リブ型導波路、屈折率が変化するフィルム導波路、拡散チャネル型導波路、ストリップ形状の導波路、埋め込み型導波路（BH）及びストリップ埋め込み型導波路が従来周知であり、これらの幾つかは図1の（A）乃至（H）に示されている。

【0051】リング導波路レーザ・ダイオードのリング導波路キャビティは、ダイオード内で発生される光がキャビティ内に閉じ込められ、そして全反射によりこの中を循環するように形作られる。全反射及び部分反射するミラーは、上記導波路キャビティの一部であり、従来のファブリィーベロー・レーザ・ダイオードのキャビティを形成する平行な前面及び後面ファセットと同様に光の多数回の跳ね返りをさせる。部分的に反射する前面ファセット（これを通ってレーザ光がキャビティ外へ結合される）の反射率は、キャビティ内に残存するレーザ光のパワーを決める。

【0052】リング導波路を設計する時の最も重要な要求事項は、全反射ミラー及び循環する光の一部分をキャビティ外へ結合する部分反射するミラーを使用する閉ざされた光の通路を与えることである。部分反射ミラーに於ける入射角度は、この入射光ビームを全反射しないでこのミラーを通過させることを確実にするためにクリチカル角度よりも小さくなければならない。

【0053】本発明の第4の実施例が図13及び図14に示されている。図13は、3角形の導波路キャビティを有する半導体レーザ・ダイオード140の概略的な上面図である。この種のリング・レーザの全キャビティ長は、代表的には300ミクロン・メータ及び1000ミクロンメータの間であり、導波路の畠の幅は、光学的に閉じ込められそしてガイドされるべき波長及び横（transversal）モードに依存する。この実施例では、全キャビティ長は約600ミクロン・メータでありそして畠の幅は3ミクロン・メータである。導波路キャビティは、レーザ・ダイオードの積層の上面に成長された畠型導波路構造144により限定される。図1及び図2に既に示したように、又前記の特開昭3-40480号に示されているように、2つのミラー・ファセット142及び143が、適切な溝をエッチングすることにより導波路構造144のコーナーに形成される。このリング・レーザ140のフロント・ファセット141は、劈開により形成されそして部分反射ミラーとして働く。このフロント・ファセットに於ける入射角度は、図13に示される角度 $\beta$ にほぼ等しい。フロント・ファセット141の反射率は、Applied Physics letters, Vol.59, No.12 September 1991, pp.1395-1397のA.Behfar-Rad等による論文

20 Etched-Facet AlGaAs Triangular-Shaped Ring lasers With Output Coupling"に示されているようにこの角度 $\beta$ に依存する。入射角度が増大すると、フロント・ファセットは全反射するようになり、この結果光はリング・キャビティ外へ結合されなくなる。これは閾値電流の減少から見ることが出来る（A.Behfar-Radの図5）。角度 $\beta$ は25°よりも小さいことが望ましい。

【0054】非対称的な分歧型導波路結合器145及び吸収手段146を有する導波路型光アイソレータは、導波路リング144内に挿入されて、反時計方向に回転する光波を減衰する。例えば、電荷の注入がなされない導波路セクションにより若しくはバンドギャップを減少するイオン注入により実現されうる光吸収手段146は、分歧型導波路結合器145の一つの分歧路部分の一端に置かれ、その結果3角形の導波路144外に結合される光の大部分は、反射されずに吸収されて、時計方向に回転している光波に向かって戻されることはない。このリング外に結合されるパワーは、角度 $\theta$ に依存する。分歧型導波路結合器145を通過した後の反時計方向に循環する光波のパワー、及び分歧型導波路内のパワーが分歧角度 $\theta$ の関数として変化することが図15に示されてい

30 40 50

る（図15で、○印は、分歧点を通過した後にリング内に残る反時計方向に回転する光波の入力パワーの%を示し、そして×印は、リング外へ結合される反時計方向に回転する光波の入力パワーの%を示す）。入力パワーから、外部へ結合されたパワー及び反時計方向に循環するモードで残存するパワーを減算したものとして規定されるパワー損失は、上記入力パワーの約3%である。

【0055】図13の線A-Aに沿って得られた断面図が図14に示されている。図14から明らかなように、レーザ・ダイオード140は基板147の上面に形成される。

【0056】例えば活性層、一つの量子力学的井戸若しくは多数の量子力学的井戸である活性領域149が、上側及び下側のクラッド層150及び151の間に埋め込まれている。畠144及び155は、クラッド層150の上面に配置されたクラッド層154をエッ칭することにより形成される。上記3角形の導波路リング144の導波路分歧部分は、絶縁層153により埋め込まれそしてメタライゼーション層152がこの畠144だけに対する接点を形成する。底部の接点メタライゼーション148は基板147に形成される。分歧型導波路結合器145の導波路の畠155は上記メタライゼーション152により覆われず、従って、これの下側の活性層149の部分でレーザ動作は生じない。導波路分歧部分155は、ここに電荷が注入されないので、ここに入り込む光を強く吸収する。

【0057】閾値電流よりも大きな電流がレーザ・ダイオード接点148及び152に印加されると、キャビティ144内でレーザ動作が生じる。時計方向に回転する光波はほぼ減衰せずに進行する。一方、反時計方向に循環する光波は減衰されて次第に抑制される。反時計方向に回転する光波を抑制することにより、エネルギーが固定方向に回転する光波に移される。導波路型光アイソレータによる反時計方向に循環する光波の抑制は、この光波に対する高い損失に対応し、従ってレーザ動作のためには、時計方向に伝搬する光波に対するよりも高い利得を要求する。キャビティ144内に残存するこの逆方向に伝搬する光波は、矢印156により示すように、フロント・ファセット141において部分的に外部に出される。

【0058】クリチカル角度即ち25°に近い入射角度を有するこのレーザの閾値電流密度は、同様なファブリ・ペロー・レーザに比較して低く、従って全体的なキャビティ損失が低いこと及び量子効率が高いことを示す。更にレーザ効率は、互いに逆方向に循環する光波の一方を（本実施例においては反時計方向に回転する光波）排除することにより改善される。上述の3角形のリング・レーザ・ダイオードの光出力はほぼ单一周波数である。既に吸収効果を有する導波路分歧部分155に加えて、光吸収手段146を使用することは、リングから

除去される光ビームが反射されて逆方向に回転する光波に送り戻されることを防止する。これは、減衰されないビームに有害な影響を与える。その理由は、逆方向に回転するビーム間に固定された位相関係がないからである。位相のシフトが変動し、そして反射された光波が、減衰されない光波を妨害して出力ビームのスペクトル純度を減少する。光吸収手段146は省略されうる。

【0059】本発明の他の実施例が図16に示され、この図は3角形のリング・レーザ170の斜視図である。このレーザ・ダイオード170は、これが3つのエッチされたミラー・ファセット171-173及びフロント・ファセット171に近くの広げられた端部セクション178を有する3角形の畠型導波路キャビティ174を含むことにより特徴づけられる。この導波路はミラー・ファセット171-173と共に横方向に光を閉じ込め、かくしてリング・レーザ・キャビティを規定する。広げられた端部セクション178は、部分反射し高品質のフロント・ファセット171の平坦性を改善するために使用される。エッチされたミラー・ファセット及び改善された平坦性を有するファセットについての詳細は、ヨーロッパ特許出願EP-A-0、363、547及びEP-A-0、402、556にそれぞれ示されている。第4の実施例と同様に、導波路型光アイソレータ176は、同じ基板177上に集積化されて、反時計方向に回転する光波の減衰を行う。ここで使用される光アイソレータ176は、分歧型の導波路結合器を含み、そしてこれの分歧部分175はここに入る光波を強く吸収する。光波を吸収するこの分歧部分175の部分は、吸収手段として働き、かくして追加の光吸収手段をこれに取り付ける必要はない。反時計方向に回転する光波の除去を更に改善するために、別の導波路の端部に光吸収手段が取り付けられ得る。

【0060】上記光波の一方を抑制することにより、時計方向に回転する光波はレーザ動作のために、減衰された光波よりも少ない利得を必要とし、單一方向のみに循環するリング・モードの半導体リング・レーザ・ダイオードを生じる。このリング・モードは、参照数字179により示されているようにフロント・ファセット171においてリング外に結合される。

【0061】後ろのファセット172及び173は溝をエッティングすることにより形成され、3角形である必要はなく、この結果ほぼ平坦なファセットが達成される。全ての導波路の畠は、長方形の断面を有するとして示されたが必ずしもこれは必要でない。

【0062】例えば5角形のような他の形の導波路が可能である。

【0063】

【発明の効果】本発明は、リング・レーザのキャビティ内の2つの互いに反対方向に循環する光波の一方を、これと反対方向の光波を減衰せずに減衰する、集積化され

た導波路型光アイソレータを有するリング・レーザ構造を実現する。

【図面の簡単な説明】

【図1】チャネル導波路構造の代表的な断面図である。

【図2】従来周知の分岐型導波路結合器の上面図である。

【図3】本発明の第1実施例に従う導波路型光アイソレータの概略的な上面図である。

【図4】畠型の導波路レーザダイオードと共に基板上にモノリシックに集積された導波路型光アイソレータを有するオプトエレクトロニクス集積回路の概略的な上面図である。

【図5】図4の線A-Aに沿って得られた分岐型の導波路結合器の拡大断面図である。

【図6】図4の畠型導波路分岐部分に結合される畠型導波路レーザ・ダイオードの斜視図である。

【図7】本発明の第3の実施例に従う2ステージのマルチ・モードの導波路型光アイソレータの上面図である。

【図8】図7の2ステージの光アイソレータの順方向に伝搬されるパワー対分岐角度 ( $\theta_1 = \theta_2$ ) を示す図である。

【図9】図7の2ステージの光アイソレータの逆方向に伝搬されるパワー対分岐角度 ( $\theta_1 = \theta_2$ ) を示す図である。

【図10】従来の3角形の導波路の有するリング・レー\*

\*ザ・ダイオードの上面図である。

【図11】長方形の導波路及び導波路キャビティ内に挿入されたミラーを有し改善された光取り出し効率を与える従来のリング・レーザ・ダイオードの上面図である。

【図12】図11のレーザ・ダイオードの詳細を示す図である。

【図13】本発明の第4の実施例に従う集積化された導波路型光アイソレータを有する3角形のリング・レーザ・ダイオードの上面図である。

【図14】図13の線A-Aに沿ったリング・レーザ・ダイオードの断面図である。

【図15】分岐角度  $\theta$  に対する、減衰されない光波及び減衰された光波のパワーを示す図である。

【図16】本発明の第5の実施例に従う集積化された導波路型光アイソレータを有する3角形のリング・レーザ・ダイオードの斜視図である。

【符号の説明】

1 2 1 . . . 光アイソレータ

5 5 . . . 導波路セクション

5 6 . . . 結合器

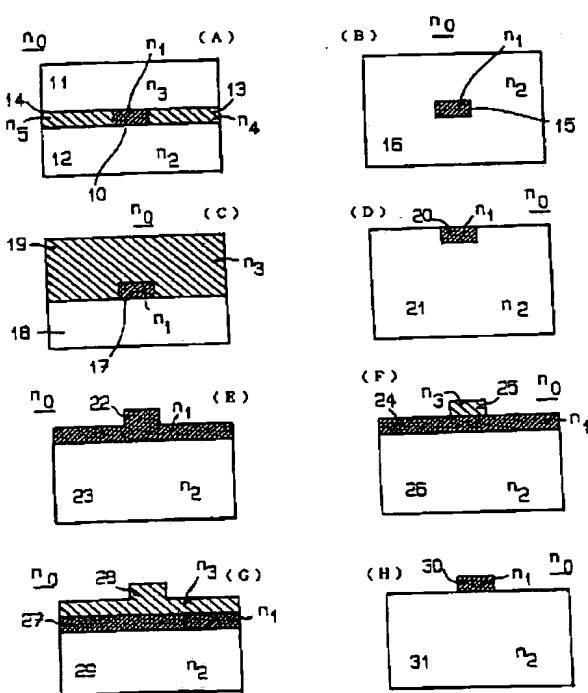
5 7 . . . 第1分岐部分

5 8 . . . 第2分岐部分

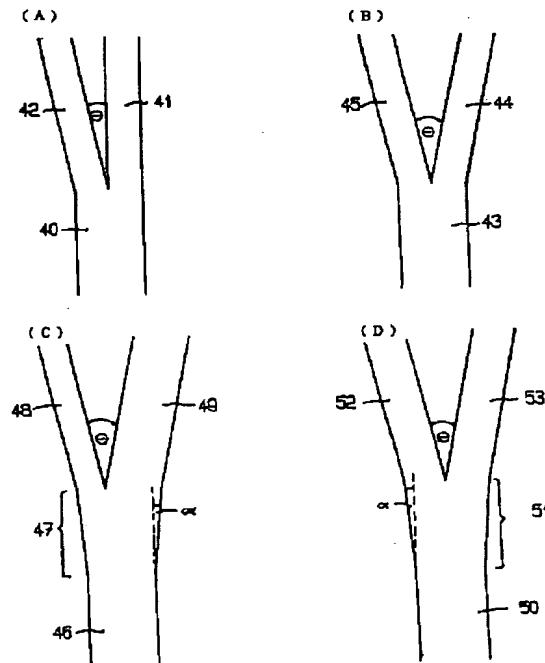
9 5 . . . 入力ポート

9 6 . . . 出力ポート

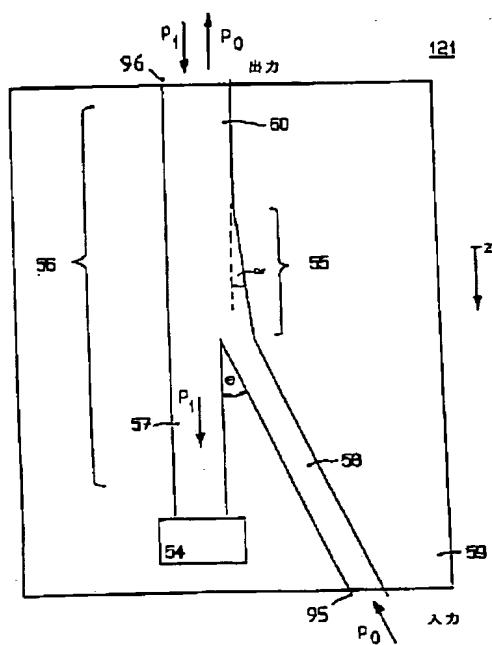
【図1】



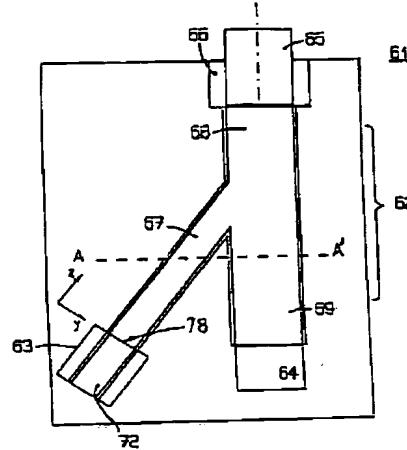
【図2】



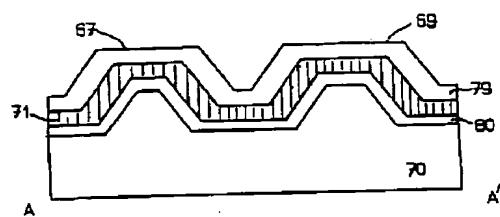
【図3】



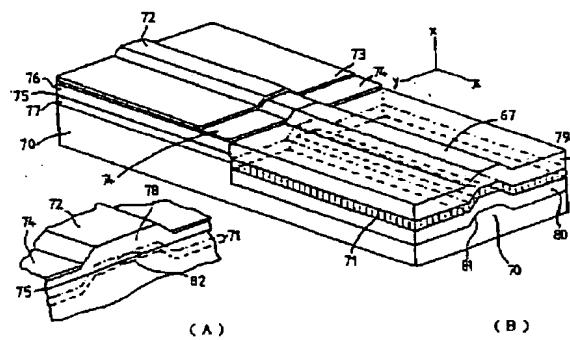
【図4】



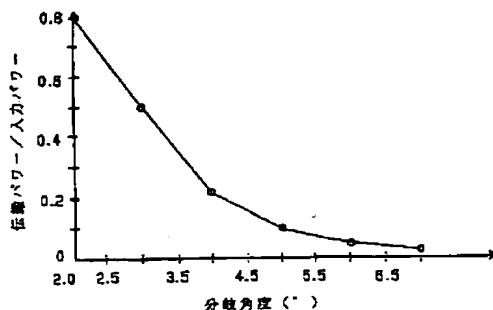
【図5】



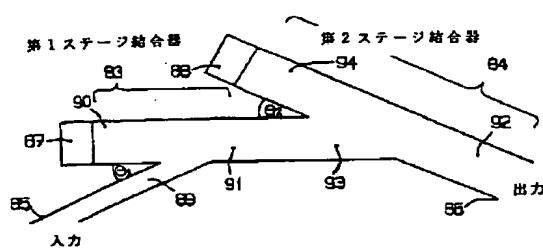
【図6】



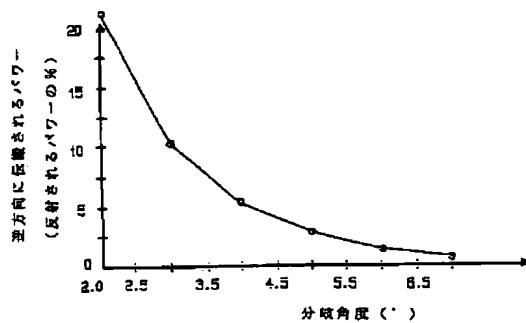
【図8】



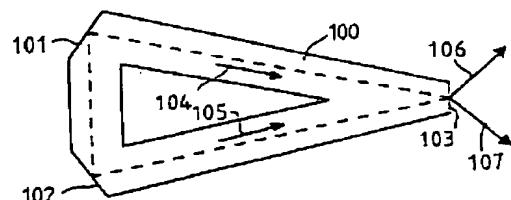
【図7】



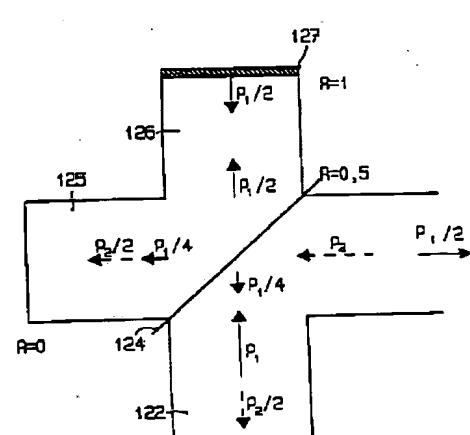
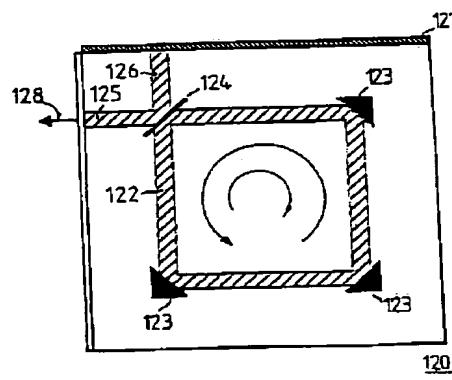
【図9】



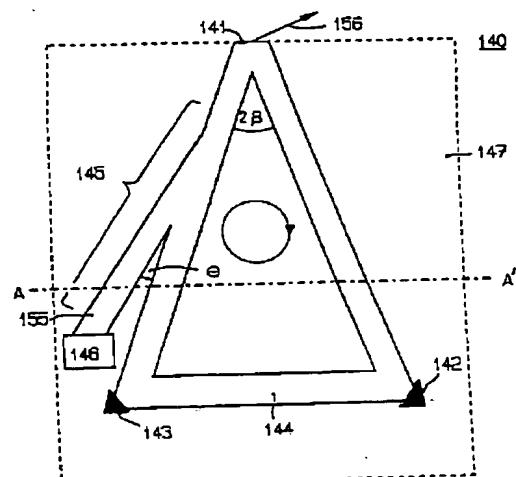
【図10】



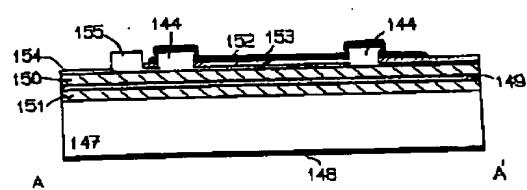
【図11】



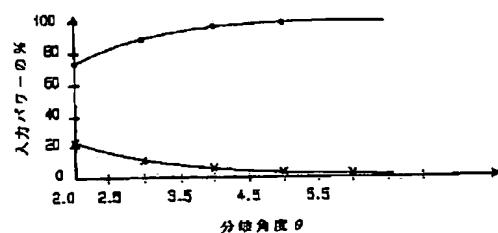
【図13】



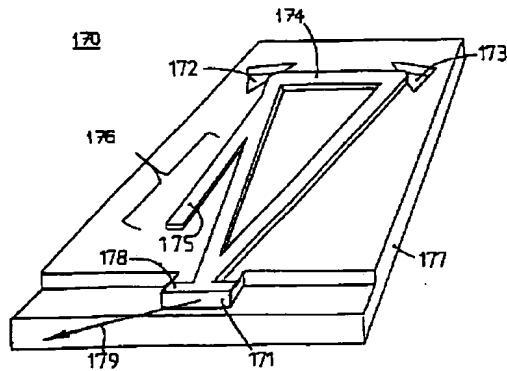
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 ハーダー・クリストファ  
スイス国、ツーリッヒ、シー・エッラー  
8038、レンガーシュトラーセ、66番地

(72)発明者 ホイシュ・クリスチャン  
スイス国、アドリスヴィル、シー・エッラー  
8134、ツーリッヒシュトラーセ、30番地

(72)発明者 ヤッケル・ハインツ  
スイス国、キルヒバーグ、シー・エッラー  
8802、クラリデンシュトラーセ、7番地